

УДК 697.329

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. С. Чигак¹, С. К. Шерьязов²

^{1,2} Южно-Уральский государственный аграрный университет,
Челябинск, Россия

¹ sakenu@yandex.ru

Аннотация. Представляемые производителем в паспорте солнечной батареи экспериментальные данные об ее электрических и тепловых характеристиках недостаточны для построения основных характеристик. Для возможности исследования характеристик солнечных элементов предложена модель на основе схемы замещения реального элемента с одним диодом и двумя сопротивлениями. Такая модель позволяет определить параметры схемы замещения солнечных элементов и определить их максимальную мощность в зависимости от воздействующих факторов.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, фотоэлектрическая система, солнечный элемент, солнечная батарея, энергетические характеристики

STUDY OF THE ENERGY CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS

A. S. Chigak¹, S. K. Cheryazov²

^{1,2} South-Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia

¹ sakenu@yandex.ru

Abstract. The experimental data provided by the manufacturer in the solar battery passport on its electrical and thermal characteristics are not sufficient to construct the main characteristics. For the possibility of studying the characteristics of solar cells, a model based on the substitution scheme of a real element with one diode and two resistances is proposed. This model allows you to determine the parameters of the solar cell replacement scheme and determine their maximum power, depending on the influencing factors.

Keywords: renewable energy, photovoltaic system, solar cell, solar battery, energy characteristics

Приоритетными направлениями в развитии электроэнергетики являются энергосбережение и повышение энергетической эффективности системы. Одним из путей энергосбережения является развитие распределенной генерации, направленное на снижение потери электроэнергии при ее передаче. Более привлекательным источником генерации являются возобновляемые энергоресурсы. Мировая практика показывает, что инвестиции в использование возобновляемой энергии растут быстрее, чем вложенные в генерацию на органических видах топлива. При этом наиболее перспективным возобновляемым источником является солнечная энергия. Наибольшее распространение находит фотоэлектрическая система (ФЭС) на базе солнечных элементов. Исследование и моделирование режимов работы солнечных элементов является важным этапом в определении энергетических показателей ФЭС.

В мире действует огромный парк энергоустановок, преобразующих возобновляемую энергию в другую полезную энергию [1; 2]. Ежегодно вводится больше мощностей генерации на возобновляемой энергии, чем на ископаемых видах топлива. Инвестиции в возобновляемые источники энергии (ВИЭ) примерно в два раза больше, чем в традиционные. Например, в 2017 г. на Китай, Европу и Соединенные Штаты приходилось почти 75 % глобальных инвестиций в ВИЭ, в частности Китай имел высокий уровень капиталовложений в 2017 г. — на 31 % больше, чем в предыдущем [3]. Есть также примеры значительных инвестиций на рынках развивающихся стран, они впечатляют и будут продолжаться.

В развитии распределенной генерации перспективным направлением является строительство солнечной электростанции (СЭС). При этом в ФЭС наибольшее распространение получили солнечные элементы (СЭ) из кремниевых элементов [4; 5].

В условиях развития рынка солнечной электроэнергетики появляется необходимость проведения исследований, связанных с проектированием, разработкой и анализом режимов работы ФЭС. При этом исследование режимов работы солнечных элементов как основного компонента ФЭС является важным этапом в определении его энергетических характеристик. При проектировании ФЭС необходимо получить адекватную модель солнечных батарей (СБ) на основе схемы замещения, описывающую внешние характеристики (ВХ), вольтамперные и вольтваттные характеристики. Для этого необходимо определить основные параметры СБ. Достоверность параметров СЭ зави-

сит от ее типа, используемой технологии и качества их изготовления. Тогда для определения параметров СБ целесообразно использовать данные из технической спецификации СЭ. В паспорте СБ представляются экспериментальные данные об электрических и тепловых характеристиках, которые производитель обязан предоставить в соответствии с требованиями UL (Underwriters Laboratories) — Компании по стандартизации и сертификации в области технической безопасности (США) [6]. В технической документации СБ производитель приводит следующие экспериментальные данные, полученные при стандартных условиях тестирования (STC):

- 1) интенсивность излучения $\lambda = 1000 \text{ Вт/м}^2$;
- 2) солнечный спектр АМ 1,5;
- 3) температура $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 4) номинальная пиковая мощность $P_{\text{МРР}}$, Вт;
- 5) напряжение в точке максимальной мощности $V_{\text{МРР}}$, В;
- 6) ток в точке максимальной мощности $I_{\text{МРР}}$, А;
- 7) напряжение холостого хода $V_{\text{ОС}}$, В;
- 8) ток короткого замыкания I_{SC} , А;
- 9) температурный коэффициент в точке холостого хода k_v , В/К;
- 10) температурный коэффициент в точке короткого замыкания k_i , А/К.

Приведенные технические данные СБ недостаточны для построения ВХ, особенно вольтваттной характеристики. При этом значения параметров СБ соответствуют одной величине солнечной радиации и температуре, принятых в качестве эталонных значений. В действительности величина солнечной радиации и ее температура изменяются в широких пределах.

Таким образом, для определения параметров схемы замещения СБ и ее максимальной мощности необходимо создать математическую модель, которая должна воспроизвести режимы работы и энергетические характеристики СБ при изменяющихся условиях эксплуатации. При этом достоверное определение ее параметров и точность моделирования рабочих режимов СБ является актуальной задачей.

Вопросу разработки математических моделей СБ и определению ее параметров посвящен ряд научных исследований [7–10]. В них простейший СЭ представляет собой «бутерброд» из двух полупроводниковых пластин p - и n -типа, которые под действием солнечного излучения генерируют электрический ток.

В самих СБ пластинки кремния соединяются последовательно плоскими проводниками для получения необходимых параметров по току и напряжению. В результате зависимость тока и мощности СБ от напряжения имеет ВХ, приведенную на рис. 1 [5].

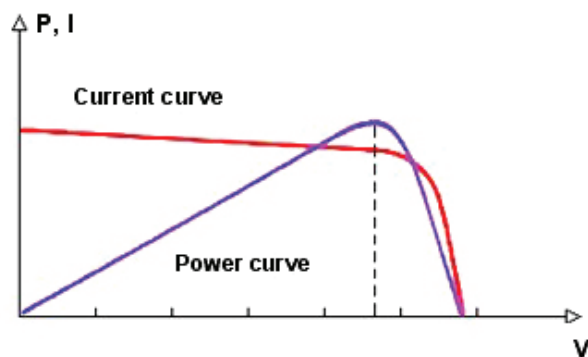


Рис. 1. Внешние характеристики СБ

Для исследования параметров и режимов работы СЭ наибольшее распространение получили математические модели, построенные на основе эквивалентных электрических схем замещения. Известна схема замещения идеального СЭ. На базе схемы замещения идеального СЭ несложно рассчитать его ВХ. Однако проведенные исследования показали невысокую точность моделирования в силу относительной простоты.

В реальных солнечных элементах неизбежны потери энергии, и для повышения точности моделирования предлагается использовать схему замещения, представленную на рис. 2.

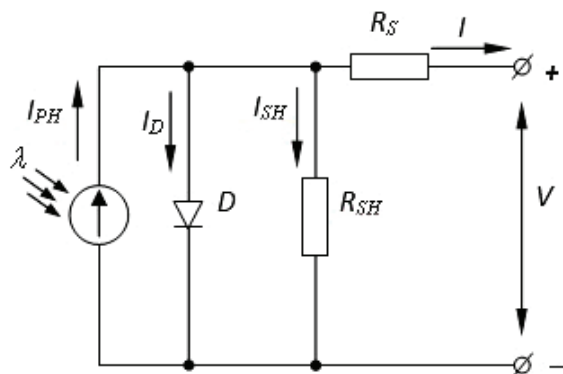


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения реального СЭ

Для такой модели связь тока и напряжения СЭ можно представить в виде уравнения

$$I = I_{PH} - I_D - I_{SH} = I_{PH} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + I \cdot R_S)}{A \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}},$$

где A — коэффициент идеальности диода; R_S и R_{SH} — последовательное и параллельное сопротивления СЭ соответственно.

Предлагаемая схема замещения реального СЭ с одним диодом и двумя сопротивлениями является компромиссом между простотой и точностью модели. На практике используются последовательно-параллельные цепочки из большого числа идентичных СЭ для получения заданной мощности на выходе СБ. При этом величина тока из N_S последовательных и N_P параллельно соединенных СЭ определяется как

$$I = N_P \cdot I_{PH} - N_P \cdot I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + I \cdot R_S)}{N_S \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}},$$

где I , V — ток и напряжение на клеммах СБ; R_S и R_{SH} — эквивалентные сопротивления СБ.

При моделировании режима работы СБ необходимо знать уровень поступающей солнечной энергии и учитывать влияние температуры на энергетические характеристики СЭ. Вместе с этим при повышении температуры СЭ следует ожидать снижение вырабатываемой мощности.

В течение светового дня поступающая солнечная энергия, температура СЭ и связанные с этим энергетические характеристики будут изменчивыми. Это ведет к необходимости учета изменения мощности СБ для оценки ее КПД для точного моделирования режима работы.

Таким образом, распределенная генерация как один из путей энергосбережения предполагает развитие солнечной электроэнергетики. При этом важно знать основные характеристики солнечных элементов, представляющих основу солнечной электрической станции. Важным фактором, влияющим на энергетические характеристики СЭ, является поступающая солнечная энергия и температура его нагрева. При этом с ростом температуры СЭ снижается его КПД и вырабатываемая мощность. Установлено влияние солнечного излучения на нагрев СЭ.

Для исследования характеристик СЭ путем моделирования режима работы предложена простая модель, обеспечивающая достаточную точность моделирования режимов работы СЭ. Использование предла-

гаемой модели позволяет максимально упростить математическое описание объекта исследования. Разработанная модель позволяет определить параметры схемы замещения СЭ и определить максимальную мощность СЭ в зависимости от рассматриваемых факторов

Список источников

1. Sheryazov S. K., Ptashkina-Girina O. S. Estimation of Renewable Energy Resources for Heat Supply Systems [Electronic resource] // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076239 (date of access: 11.11.2020).

2. Sheryazov S. K., Shelubaev M. V., Obukhov S. G. Renewable Sources in System Distributed Generation [Electronic resource] // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076247 (date of access: 11.11.2020).

3. Renewables 2020 Global Status Report [Electronic resource]. URL: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/> (date of access: 10.12.2020).

4. Стребков Д. С. Матричные солнечные элементы: в 3-х т. М. : ГНУВИЭСХ, 2009. Т. 1. 120 с.

5. Obukhov S. G., Plotnikov I. A., Sheryazov S. K. Methods of effective use of solar power system [Electronic resource] // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911015 (date of access: 11.11.2020).

6. Underwriters Laboratories Inc. [Electronic resource]. URL: <http://ul.com/> (date of access: 10.12.2020).

7. Handbook of photovoltaic science and engineering [Electronic resource] / ed. by A. Luque, S. Hegedus. England: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 1167 p. URL: <https://www.pdfdrive.com/handbook-of-photovoltaic-science-and-engineering-e165279962.html> (date of access: 10.12.2020).

8. Practical handbook of photovoltaics: fundamentals and applications / ed. A. McEvoy, T. Markvart, L. Castaner. Academic Press, 2011. 1268 p.

9. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М. : Энергоатомиздат, 1983. 360 с.

10. Фаренбух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / пер. с англ. под. ред. М. М. Колтуна. М. : Энергоатомиздат, 1987. 280 с.